

# ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КОМПЛЕКС МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ С 3 % ХРОМА

*Есаулов А.А., Ануфриев Н.П., Лаев К.А.*

ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Екатеринбург

**EsaulkovAA@sinara-group.com**

Насосно-компрессорные трубы (НКТ) часто эксплуатируются в условиях повышенной концентрации углекислого газа и сероводорода в составе перекачиваемой среды на месторождениях, расположенных в арктических районах. В настоящее время проводятся исследования коррозионной стойкости и хладостойкости новых марок стали с 3 % хрома, предназначенных для производства обсадных и насосно-компрессорных труб группы прочности L80 тип 1 по стандарту API Spec 5CT повышенной эксплуатационной надежности.

Режим термической обработки и комплекс механических свойств (предел текучести, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение, ударная вязкость) оказывают значительное влияние на коррозионную стойкость стали. Так, при развитии отпускной хрупкости в стали может значительно повышаться ее склонность к водородному охрупчиванию и сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением (СКРН). Сегрегация примесных атомов в этом случае может снизить пассивирующую способность защитной пленки, образовавшейся за счет повышенного содержания хрома, что может привести к развитию общей и локальной коррозии в углекислотной среде [1].

Исследование комплекса механических свойств после окончательной термической обработки проводили на сталях с 3 % хрома трех марок: 20X3, 20X3М (содержание молибдена 0,19 %) и 20X3МФ (содержание молибдена 0,19 %; содержание ванадия 0,05 %).

Стандарт API Spec 5CT предъявляет следующие требования к механическим свойствам группы прочности L80 тип 1 (уровень требований PSL-1):

- предел текучести  $\sigma_{0,2}$  от 552 до 655 МПа;
- временное сопротивление  $\sigma_b$  не менее 655 МПа;
- относительное удлинение  $\delta$  не менее 19 %;
- ударная вязкость  $KCV^{-60}$  не менее 98 Дж/см<sup>2</sup> (согласно техническим условиям на хладостойкие насосно-компрессорные трубы);
- твердость не более 23 HRC.

Для получения комплекса механических свойств группы прочности L80 тип 1 была проведена термическая обработка исследуемых сталей по режимам: «закалка от 900 °С + отпуск в интервале температур 600...700 °С».

Механические свойства, полученные при испытаниях на растяжение, приведены на рисунке 1.

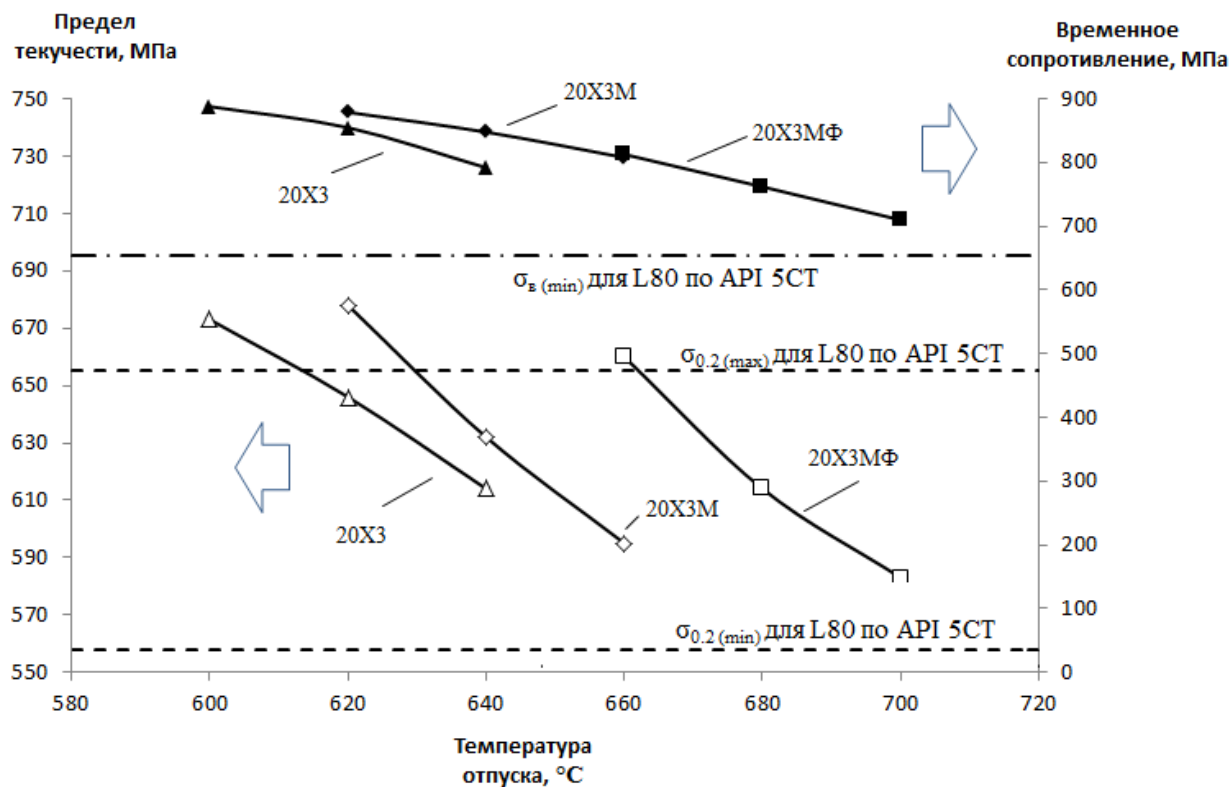


Рисунок 1 – Влияние температуры отпуска на прочностные свойства исследуемых сталей (марки указаны на рисунке)

По результатам испытаний для каждой марки стали были выбраны рациональные режимы термической обработки, позволяющие обеспечить заданный уровень свойств группы прочности L80 тип 1.

Была изучена склонность опытных сталей к обратимой отпускной хрупкости. На рисунке 2 приведены значения ударной вязкости, полученные при испытаниях на ударный изгиб при температуре минус 60 °C после различных режимов охлаждения после отпуска (на воздухе и с печью).

Установлено, что сталь марки 20X3 имеет высокую склонность к обратимой отпускной хрупкости, поскольку с уменьшением скорости охлаждения после отпуска ударная вязкость стали значительно уменьшается, характер разрушения становится преимущественно хрупким (доля вязкой составляющей в изломе образца составляет не более 10 %). Дополнительное легирование стали 20X3М молибденом позволяет значительно повысить ее хладостойкость и снизить склонность к отпускной хрупкости. Комплексное легирование молибденом и ванадием стали 20X3МФ также оказывает положительное влияние на механические свойства, но при этом уровень хладостойкости практически не отличается от стали 20X3М.

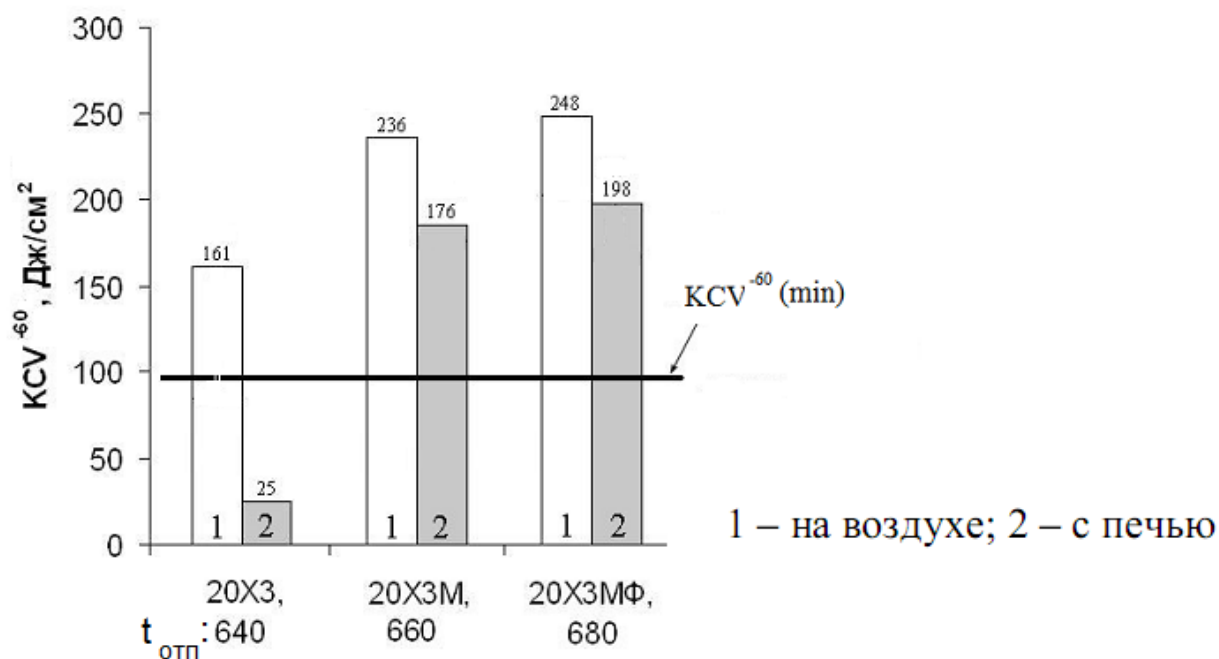


Рисунок 2 – Ударная вязкость исследуемых сталей после различных условий охлаждения после отпуска: 1 – на воздухе; 2 – с печью

Результаты проведенных исследований позволили провести апробацию стали марки 20X3M для производства обсадных и насосно-компрессорных труб повышенной эксплуатационной надежности за счет их высокой хладостойкости и низкой склонности к отпускной хрупкости. Металл труб показал высокую стойкость к СКРН (образцы труб выдержали испытание по NACE TM0177, метод «А» в течение 720 часов) и высокую стойкость к углекислотной коррозии.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Утевский Л.М. Обратимая отпускная хрупкость / Л.М. Утевский, Е.Э. Гликман, Г.С. Карк. М.: Металлургия, 1987. 222 с.